

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 10-125588

(43)Date of publication of application : 15.05.1998

(51)Int.Cl.

H01L 21/027  
G03F 7/20

(21)Application number : 08-297656

(71)Applicant : NIKON CORP

(22)Date of filing : 18.10.1996

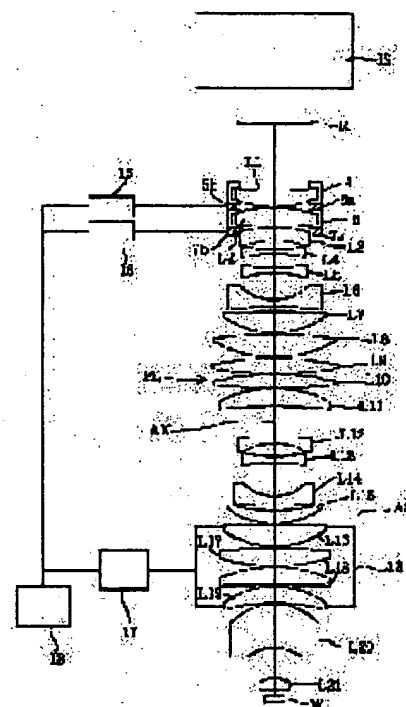
(72)Inventor : YABUKI EIJI

## (54) PROJECTION ALIGNER

## (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a projection aligner which is able to correct a plurality of various aberrations including the projection multiplying factor of a projection optical system independently at any time.

**SOLUTION:** A transfer means (5, 7) by which at least one lens (L1, L2) among lenses of which a projection optical system PL is composed is transferred along a light axis and an air pressure control means (13, 17) by which air pressure in spaces formed between a plurality of lenses L16-L19 which are arranged continuously in the projection optical system are changed are provided. By the actions of the lens transfer by the transfer means and the air pressure change in the space by the air pressure control means, a plurality of aberrations including the projection multiplying factor of the projection optical system can be corrected independently.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

**\* NOTICES \***

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

**CLAIMS**

---

[Claim(s)]

[Claim 1] A projection aligner equipped with projection optics for projecting an image of a pattern formed in a mask characterized by providing the following on a photosensitive substrate A migration means for moving at least one lens in a lens which constitutes said projection optics in accordance with an optical axis It is the projection scale factor of said projection optics by operation with lens migration have an atmospheric-pressure control means for changing an atmospheric pressure of space formed among two or more lenses continuously arranged in said projection optics, and according to said migration means, and an allobar of said space by said atmospheric-pressure control means.

[Claim 2] It is the projection aligner according to claim 1 which is made to move a lens of positive refractive power arranged by said migration means approaching a mask side in said projection optics, and is characterized by said atmospheric-pressure control means changing an atmospheric pressure of space formed among two or more lenses arranged continuously [ near / which was prepared in said projection optics / the aperture diaphragm ].

[Claim 3] A projection aligner according to claim 2 characterized by satisfying conditions of  $|F/F_t| < 0.5$  when a focal distance of said projection optics is set to  $F_t$  and a synthetic focal distance of two or more of said lenses arranged continuously is set to  $F$ .

---

[Translation done.]

**\* NOTICES \***

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

**DETAILED DESCRIPTION**

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[The technical field to which invention belongs] Especially this invention relates to aberration amendment of the projection optics in the projection aligner for manufacture of a semiconductor device, a liquid crystal device, or the thin film magnetic head about a projection aligner.

[0002]

[Description of the Prior Art] The equipment (henceforth a "stepper") which adopts as each exposure field of a wafer the method (step-and-repeat method) which carries out projection exposure of the mask pattern image is in use, moving serially the wafer which is a photosensitive substrate in a projection aligner. In a stepper, a mask pattern is exposed in piles on one wafer. Under the present circumstances, superposition exposure of the pattern new on the pattern already formed in the wafer of the before production process must be carried out in 1 / about five to 1/10 precision of resolution needed at the time of exposure.

[0003] In addition, in order to create one LSI, lithography production processes, such as superposition exposure, development, and carrier impregnation, are repeated about dozens times. Moreover, the mask pattern which can be burned on one wafer is not necessarily one kind, either. Therefore, in order to raise productivity, it is common to arrange two or more sets of steppers on one production line, and to carry out superposition exposure of the pattern on one wafer, using two or more sets of steppers one by one.

[0004] In order to secure an above-mentioned superposition precision especially, the projection scale factor of each projection optics carried in the stepper which constitutes the same production line must be mostly in agreement. By the way, in the production phase of a stepper, it is adjusted so that many aberration of each projection optics may become below fixed criteria. However, projection optics of the stepper installed in the same production line cannot be doubled with a predetermined projection scale factor in a production phase. Moreover, after being installed in a production line, it may originate in environmental variations, such as change of atmospheric pressure, and change of atmospheric temperature, and many aberration containing the projection scale factor of each projection optics may get worse.

[0005] So, in the stepper, after being installed in a production line, the amendment device for doubling the projection scale factor of each projection optics with a predetermined projection scale factor is proposed variously.

[0006]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] Thus, with the conventional technology, only the projection scale factor of projection optics is amended in the projection aligner installed in the production line. However, as mentioned above, when highly precise projection exposure was performed and only the projection scale factor was amended, there was un-arranging [ that many of other aberration like spherical aberration or comatic aberration will get worse ].

[0007] This invention is made in view of the above-mentioned technical problem, and aims at offering the projection aligner which can amend independently two or more aberration of many containing the projection scale factor of projection optics at any time.

[0008]

[Means for Solving the Problem] In order to solve said technical problem, it sets to this invention. In a projection aligner equipped with projection optics for projecting an image of a pattern formed in a mask on a photosensitive substrate A migration means for moving at least one lens in a lens which constitutes said projection optics in accordance with an optical axis, It has an atmospheric-pressure control means for changing an atmospheric pressure of space formed among two or more lenses continuously arranged in said projection optics. A projection aligner characterized by amending independently two or more aberration containing a projection scale factor of said projection optics according to an operation with lens migration by said migration means and an allobar of said space by said atmospheric-pressure control

means is offered.

[0009] According to the desirable mode of this invention, a lens of positive refractive power arranged by said migration means approaching a mask side in said projection optics is moved, and said atmospheric-pressure control means changes an atmospheric pressure of space formed among two or more lenses arranged continuously [ near / which was prepared in said projection optics / the aperture diaphragm ].

[0010] Moreover, when a focal distance of said projection optics is set to FT and a synthetic focal distance of two or more of said lenses arranged continuously is set to F, it is desirable to satisfy conditions of  $|F/FT| < 0.5$ .

[0011]

[Embodiment of the Invention] In this invention, it has the atmospheric-pressure control means for changing the atmospheric pressure of the space formed between the migration means for moving at least one lens in the lens which constitutes projection optics in accordance with an optical axis, and two or more lenses continuously arranged in projection optics. Therefore, a projection scale factor changes and other aberration changes with the lens migration by the migration means. On the other hand, similarly a projection scale factor changes and other aberration changes with the allobars of the space between the lenses by the atmospheric-pressure control means. Consequently, two or more aberration containing the projection scale factor of projection optics can be independently amended by controlling suitably lens movement magnitude and the amount of allobars.

[0012] In addition, it is desirable to move the lens of the positive refractive power arranged by approaching a mask side in projection optics so that each aberration may change somewhat independently to image quantity. The breadth of an oblique ray must be small so that the chief ray from each image quantity may have estranged to some extent mutually and may still more specifically change somewhat independently to image quantity also about spherical aberration or comatic aberration. Therefore, the height of the chief ray from the maximum image quantity which passes this lens with a movable lens in accordance with an optical axis is 60 percent or more of the maximum image quantity, and it is desirable that the width of face of the marginal ray of the maximum numerical aperture and a chief ray is 1/4 or less [ of the diameter at the maximum equator of a lens ].

[0013] Moreover, as for two or more continuous lenses which receive an allobar, it is desirable for it to be arranged near [ which was prepared in projection optics ] the aperture diaphragm, and to satisfy the following conditional expression (1).

$|F/FT| < 0.5$  (1)

Here, it is the focal distance F of FT:projection optics. : If it exceeds the upper limit of the synthetic focal distance conditional expression (1) of two or more lenses arranged continuously, the synthetic refractive power of two or more continuous lenses which receive an allobar becomes weak too much, and pressure variation required to obtain a predetermined projection scale-factor change will become large too much.

[0014] The example of this invention is explained based on an accompanying drawing. Drawing 1 is drawing showing roughly the configuration of the projection aligner concerning the example of this invention. This example shows the example which applied this invention to the stepper for semiconductor manufacture. In drawing 1, the reticle R as a mask with which the predetermined circuit pattern was formed in the body side of the projection optics PL which consists of 21 lenses L1-L21 is arranged, and the wafer W as a photosensitive substrate is arranged in the image surface of projection optics PL. Here, Reticle R is held on the reticle stage (un-illustrating), and Wafer W is held on the wafer stage (un-illustrating) constituted movable two-dimensional in the field perpendicular to the optical axis AX of projection optics PL.

[0015] Moreover, above Reticle R, the illumination-light study system IS for carrying out homogeneity lighting of the reticle R is arranged. The light supplied from the illumination-light study system IS illuminates Reticle R, and the image of the light source in illumination-light study equipment IS is formed in the pupil location (location of aperture-diaphragm AS) of projection optics PL. That is, illumination-light study equipment IS carries out homogeneity lighting of the reticle R under Koehler illumination. And projection exposure of the pattern image of the reticle R in which Koehler illumination was carried out by projection optics PL is carried out on Wafer W. In this way, a reticle pattern can be serially imprinted to each exposure field on Wafer W by exposing moving Wafer W two-dimensional, if a wafer stage is pulled.

[0016] Projection optics PL sequentially from a body side (Reticle R side) To a body side, a concave surface To a positive meniscus lens [ which was turned ] L1, biconvex lens L2, negative meniscus lens [ which turned the convex to the body side ] L3, biconcave lens L4, biconcave lens L5, biconcave lens L6, biconvex lens L7, biconvex lens L8, biconvex lens L9, biconvex lens L10, and body side, a convex To a positive meniscus lens [ which was turned ] L11, biconcave lens L12, biconcave lens L13, biconcave lens L14, positive meniscus lens [ that turned the concave surface to the body side ] L15, positive meniscus lens [ which turned the concave surface to the body side ] L16, biconvex lens

L17, and body side, a convex It consists of the turned positive meniscus lens L18, a positive meniscus lens L19 which turned the convex to the body side, a negative meniscus lens L20 which turned the convex to the body side, and a positive meniscus lens L21 which turned the convex to the body side. In addition, aperture-diaphragm AS is arranged between the positive meniscus lens L15 and the positive meniscus lens L16.

[0017] The positive meniscus lens L1 arranged most at the body side is held by the lens room 4. Moreover, the biconvex lens L2 is held by the lens room 6. Furthermore, between the lens room 4 and the lens room 6, three driver elements 5a-5c (however, 5c un-illustrating) are formed, and the lens room 6 is supported by three driver elements 7a-7c (however, 7c un-illustrating). And it is constituted so that three driver elements 5a-5c may be carried out by the control unit 15 and drive control of the three driver elements 7a-7c may be carried out by the control unit 16, respectively. Moreover, the control unit 15 and the control unit 16 are constituted so that it may be controlled by the system control system 18. In addition, a piezo-electric element, a micrometer, etc. can be used as a driver element.

[0018] Therefore, according to an operation of three driver elements 5a-5c, if the lens room 4 is pulled, in accordance with an optical axis AX, only the amount of requests can move a positive meniscus lens L1. Moreover, according to an operation of three driver elements 7a-7c, if the lens room 4 and the lens room 6 are pulled, in accordance with an optical axis AX, only the amount of requests can move a positive meniscus lens L1 and a biconvex lens L2 in one. That is, in accordance with an optical axis AX, only the amount of requests can move a positive meniscus lens L1 and a biconvex lens L2, respectively according to a collaboration operation with three driver elements 5a-5c and three driver elements 7a-7c. Thus, three driver elements 5a-5c, three driver elements 7a-7c, the control unit 15, the control unit 16, and the system control system 18 constitute the migration means for moving each for a positive meniscus lens L1 and a biconvex lens L2 in accordance with an optical axis AX.

[0019] Moreover, the space formed between four lenses L16 continuously arranged rather than aperture-diaphragm AS at the image side, i.e., a positive meniscus lens, a biconvex lens L17, a positive meniscus lens L18, and a positive meniscus lens L19 is surrounded in the state of seal by the septum 13. The septum 13 is connected to a pressure adjuster 17 like a pressurization-and-decompression pump, and the pressure adjuster 17 is constituted so that it may be controlled by the system control system 18. Therefore, only the amount of requests can change the atmospheric pressure of the space formed between a biconvex lens L17 and a positive meniscus lens L18 and between a positive meniscus lens L18 and a positive meniscus lens L19 between a positive meniscus lens L16 and a biconvex lens L17 according to an operation of a pressure adjuster 17. Thus, the septum 13, the pressure adjuster 17, and the system control system 18 constitute the atmospheric-pressure control means for changing the atmospheric pressure of the space formed among four lenses arranged continuously.

[0020] The value of the item of the projection optics PL in this example is hung up over the following table (1). In the table (1), the left end numeric character shows the refractive index [ as opposed to / in n / r / radius of curvature / of each lens side / d / exposure wavelength ( $\lambda = 248.4\text{nm}$ ) for each lens spacing ] for the sequence of each lens side from a body side (Reticle R side). Moreover, d0 L is carrying out the table of the shaft top distance, i.e., length between object images, from a body side (the Rth page of reticle) to the image surface (the Wth page of wafer) for the numerical aperture [ distance / to the lens side by the side of a body / shaft top / beta / scale factor / of projection optics PL / projection / NA ] by the side of the image of projection optics PL (Wafer W side) most from Reticle R, respectively.

[0021]

[A table 1]

d0 = 111.4571 beta = 1/4NA = 0.57 L = 1000 r d n1 -737.785 27.48446 1.5084 (L1)

2 -235.289 0.91615 3 211.1786 36.64594 1.5084 (L2)

4 -461.399 0.91615 5 412.6778 21.07142 1.5084 (L3)

6 160.5391 16.19671 7 -604.128 7.214870 1.5084 (L4)

8 218.1877 23.94148 9 -3586.06 11.97760 1.5084 (L5)

10 251.8168 46.50644 11 -85.2817 11.96050 1.5084 (L6)

12 584.8597 9.96843 13 4074.801 35.29106 1.5084 (L7)

14 -162.019 0.92274 15 629.544 41.22669 1.5084 (L8)

16 -226.740 0.91615 17 522.2739 27.84209 1.5084 (L9)

18 -582.424 0.91615 19 423.7290 22.90371 1.5084 (L10)

20 -1385.36 0.91610 21 212.0390 33.64638 1.5084 (L11)

22 802.3695 55.30363 23 -776.570 8.703410 1.5084 (L12)

24 106.1728 24.08966 25 -200.683 11.45186 1.5084 (L13)

26 311.8264 59.53984 27 -77.2276 11.77233 1.5084 (L14)

28 2317.803 11.86173 29 -290.886 22.90371 1.5084 (L15)

30 -148.358 1.37269 31 -5658.50 41.22670 1.5084 (L16)  
 32 -151.986 0.91615 33 678.1005 32.98135 1.5084 (L17)  
 34 -358.554 0.91615 35 264.2734 32.81350 1.5084 (L18)  
 36 2309.688 0.91615 37 171.2681 29.01459 1.5084 (L19)  
 38 364.7765 0.91788 39 113.370 76.25934 1.5084 (L20)  
 40 78.69823 54.30392 41 49.54433 18.64972 1.5084 (L21)  
 42 109.8136 0.24723 (Value corresponding to Conditions)

(1)  $|F/F_t| < 0.5 = 0.244[0022]$  The variation of each aberration on the wafer W when moving only a positive meniscus lens L1 to the method of drawing Nakagami along with 100 micrometers AX, i.e., +100-micrometer optical axis, in projection optics PL, and extending 100 micrometers of air gaps of a positive meniscus lens L1 and a biconvex lens L2 is shown in the following table (2). In addition, in a table (2), the following tables (3), and (4), spherical aberration (the maximum numerical aperture) expresses the spherical aberration over the maximum numerical aperture. Moreover, the projection scale factor (the maximum image quantity) expresses the image quantity of the chief ray from the maximum body high. Furthermore, the sum of a coma expresses total with the distance in the image surface of the bottom light from the distance in the image surface and the maximum body high of top light and a chief ray from the maximum body high, and a chief ray. Therefore, when the value of the sum of a coma is positive and the method comatic aberration of outside is [ the value of the sum of a coma ] negative, inner direction comatic aberration will occur.

[0023]

[A table 2]

変化量 ( $\mu\text{m}$ )

球面収差 (最大開口数)	- 0. 3 6
投影倍率 (最大像高)	- 1. 3 9
コマの和	+ 0. 3 9

[0024] Moreover, the variation of each aberration on the wafer W when moving a positive meniscus lens L1 and a biconvex lens L2 to the method of drawing Nakagami along with 100 micrometers AX, i.e., +100-micrometer optical axis, and extending 100 micrometers of air gaps of a biconvex lens L2 and a negative meniscus lens L3 is shown in the following table (3).

[0025]

[A table 3]

変化量 ( $\mu\text{m}$ )

球面収差 (最大開口数)	- 0. 8 6
最大像高 (最大像高)	- 1. 5 2
コマの和	+ 0. 9 6

[0026] Furthermore, the variation of each aberration on the wafer W when carrying out at the time, i.e., +100mmHg change, at which only 100 mmHg increased the atmospheric pressure of the space in the septum 13 which is carrying out seal envelopment of a positive meniscus lens L16 - the positive meniscus lens L19 is shown in the following table (4).

[0027]

[A table 4]

変化量 ( $\mu\text{m}$ )

球面収差 (最大開口数)	- 0. 2 4
最大像高 (最大像高)	+ 0. 4 5
コマの和	- 0. 6 8

[0028] Here, only +1 micrometer for example, of projection scale factors is considered about the case where only +0.1 micrometers amends only +0.1 micrometers of sums of a coma for spherical aberration to coincidence, respectively. First, it is possible by moving only -71.9 micrometers only of positive meniscus lenses L1, for example in the direction of an optical axis to amend only +1 micrometer of projection scale factors. However, while only +0.26 micrometers of spherical aberration occur in this case, only -0.28 micrometers of sums of a coma will occur. Therefore, although a projection scale factor can be amended as a request, the sum of spherical aberration and a coma cannot be amended.

[0029] Moreover, by moving only a positive meniscus lens L1 and +34.1 micrometers of biconvex lenses L2 in the

direction of an optical axis, while moving only -109.2 micrometers of positive meniscus lenses L1, for example in the direction of an optical axis, while amending only +1 micrometer of projection scale factors, only +0.1 micrometers of spherical aberration can be amended. However, in this case, only -0.09 micrometers of sums of a coma occur, and they cannot amend a projection scale factor, spherical aberration, and the sum of a coma to coincidence.

[0030] In this example, as shown in a table (2) - a table (4), a projection scale factor, spherical aberration, and comatic aberration change with migration of a positive meniscus lens L1, migration with a positive meniscus lens L1 and a biconvex lens L2, and the allobars between four lenses independently, respectively. Therefore, it is possible by imitating the solution method of simultaneous equations and choosing suitably the movement magnitude of a positive meniscus lens L1, the movement magnitude of a positive meniscus lens L1 and a biconvex lens L2, and the amount of allobars between four lenses to amend a projection scale factor, spherical aberration, and comatic aberration to coincidence.

[0031] While moving only -133.2 micrometers of positive meniscus lenses L1 in the direction of an optical axis and specifically moving only a positive meniscus lens L1 and +49.9 micrometers of biconvex lenses L2 in the direction of an optical axis in the case of this example When only -20.7 mHg changes the atmospheric pressure of the space in a septum 13, while amending only +1 micrometer of projection scale factors and amending only +0.1 micrometers of spherical aberration, only +0.1 micrometers of sums of a coma can be amended. Thus, in this example, migration of a positive meniscus lens L1, migration with a positive meniscus lens L1 and a biconvex lens L2, and the allobar between four lenses can amend independently the projection scale factor, spherical aberration, and comatic aberration which remain in projection optics PL at any time.

[0032] The above-mentioned example shows the example which amends a projection scale factor, spherical aberration, and comatic aberration by migration of two lenses and the allobar of one space. However, migration of one lens and the allobar of one space can also amend a projection scale factor and other suitable aberration. Moreover, many aberration, such as for example, the amount of focal fluctuation, a curvature of field, and distortion, can also be amended with a projection scale factor by choosing suitably the number of movable lenses, and the number of the space in which an allobar is possible. moreover, the thing made for one [ at least ] lens to incline to an optical axis although two lenses are moved in the direction of an optical axis in the above-mentioned example -- rotation -- it is also possible to amend unsymmetrical aberration.

[0033]

[Effect] As explained above, in this invention, two or more aberration containing the projection scale factor of projection optics can be independently amended by controlling suitably lens movement magnitude and the amount of allobars. Therefore, after various environmental variations immediately after installing in a production line happen, always highly precise projection exposure can be performed by adjusting the projection scale factor of projection optics etc. at any time.

---

[Translation done.]

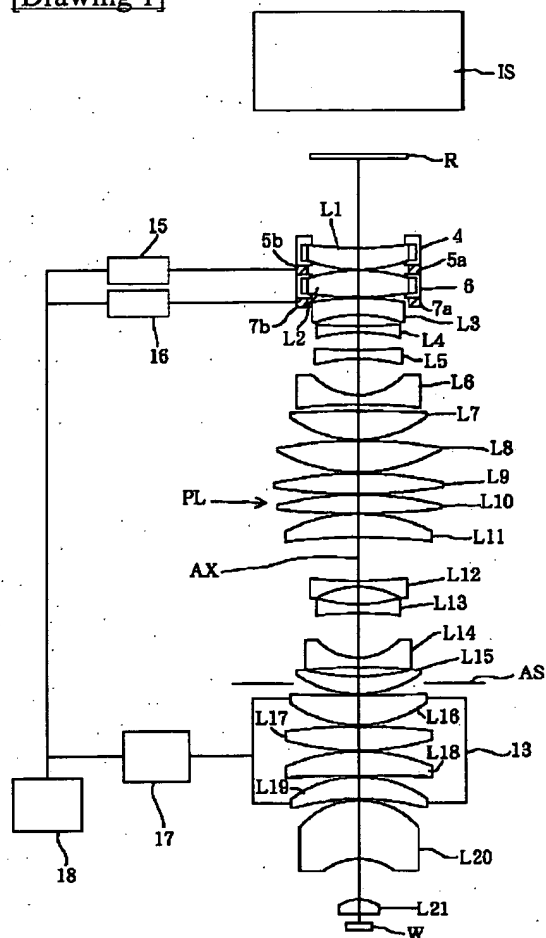
## \* NOTICES \*

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

## DRAWINGS

[Drawing 1]



[Translation done.]



特開平10-125588

(43) 公開日 平成10年(1998) 5月15日

(51) IntCl.<sup>6</sup> 識別記号

H 0 1 L 21/027

G 0 3 F 7/20

5 2 1

F I

H 0 1 L 21/30

G 0 3 F 7/20

H 0 1 L 21/30

5 1 5 D

5 2 1

5 1 6 F

審査請求 未請求 請求項の数 3 F D (全 7 頁)

(21) 出願番号

特願平8-297656

(22) 出願日

平成8年(1996)10月18日

(71) 出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72) 発明者 矢吹 英司

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株

式会社ニコン内

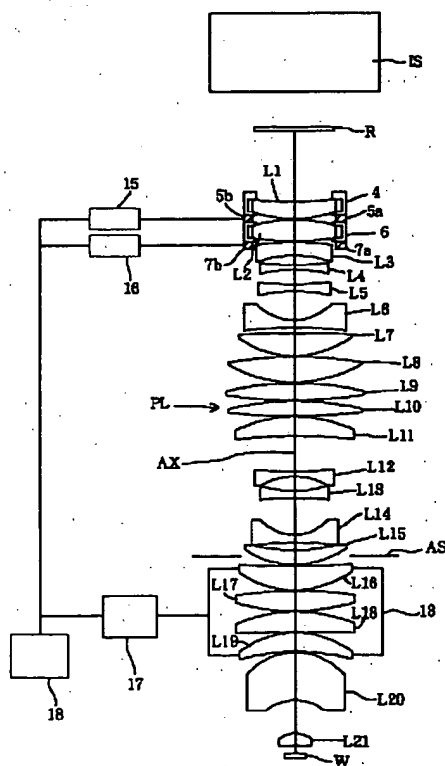
(74) 代理人 弁理士 山口 孝雄

(54) 【発明の名称】 投影露光装置

(57) 【要約】

【課題】 投影光学系の投影倍率を含む複数の諸収差を随時独立に補正することのできる投影露光装置。

【解決手段】 投影光学系 (P L) を構成するレンズのうちの少なくとも1つのレンズ (L 1、L 2) を光軸に沿って移動させるための移動手段 (5、7) と、投影光学系内において連続して配置された複数のレンズ (L 16 ~ L 19) の間に形成される空間の気圧を変化させるための気圧制御手段 (13、17) とを備えている。そして、移動手段によるレンズ移動と気圧制御手段による空間の気圧変化との作用により、投影光学系の投影倍率を含む複数の収差を独立に補正する。



#### 【特許請求の範囲】

【請求項1】 マスクに形成されたパターンの像を感光性の基板上に投影するための投影光学系を備えた投影露光装置において、

前記投影光学系を構成するレンズのうちの少なくとも1つのレンズを光軸に沿って移動させるための移動手段と、

前記投影光学系内において連続して配置された複数のレンズの間に形成される空間の気圧を変化させるための気圧制御手段とを備え、

前記移動手段によるレンズ移動と前記気圧制御手段による前記空間の気圧変化との作用により、前記投影光学系の投影倍率を含む複数の収差を独立に補正することを特徴とする投影露光装置。

【請求項2】 前記移動手段は、前記投影光学系においてマスク側に近接して配置された正屈折力のレンズを移動させ、

前記気圧制御手段は、前記投影光学系内に設けられた開口絞りの近傍において連続して配置された複数のレンズの間に形成される空間の気圧を変化させることを特徴とする請求項1に記載の投影露光装置。

【請求項3】 前記投影光学系の焦点距離を $F$ とし、前記連続して配置された複数のレンズの合成焦点距離を $F_t$ としたとき、

$$|F/F_t| < 0.5$$

の条件を満足することを特徴とする請求項2に記載の投影露光装置。

#### 【発明の詳細な説明】

##### 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は投影露光装置に関し、特に半導体素子や液晶素子や薄膜磁気ヘッドの製造のための投影露光装置における投影光学系の収差補正に関する。

##### 【0002】

【従来の技術】投影露光装置では、感光性基板であるウエハを逐次移動させながらウエハの各露光領域にマスクパターン像を投影露光する方式（ステップアンドリピート方式）を採用する装置（以下、「ステッパ」という）が主流である。ステッパでは、1枚のウエハ上にマスクパターンを重ねて露光する。この際、露光時に必要とする解像線幅の $1/5 \sim 1/10$ 程度の精度で、前工程によって既にウエハに形成されているパターン上に新たなパターンを重ね合わせ露光しなければならない。

【0003】なお、1つのLSIを作成するには、重ね合わせ露光、現像、キャリア注入などのリソグラフィ工程を数十回程度繰り返す。また、1枚のウエハ上に焼き付けるマスクパターンも1種類とは限らない。したがって、生産性を向上させるために、1つの生産ライン上に複数台のステッパを配置し、複数台のステッパを順次利用して1枚のウエハ上にパターンを重ね合わせ露光するの

が一般的である。

【0004】特に、上述の重ね合わせ精度を確保するには、同一生産ラインを構成するステッパに搭載された各投影光学系の投影倍率がほぼ一致していなければならない。ところで、ステッパの生産段階においては、各投影光学系の諸収差が一定基準以下になるように調整されている。しかしながら、同一生産ラインに設置されるステッパの投影光学系を、生産段階において所定の投影倍率に合わせ込むことはできない。また、生産ラインに設置された後においても、大気圧の変化や気温の変化などの環境変化に起因して、各投影光学系の投影倍率を含む諸収差が悪化することがある。

【0005】そこで、ステッパでは、生産ラインに設置された後に各投影光学系の投影倍率を所定の投影倍率に合わせ込むための補正機構が種々提案されている。

##### 【0006】

【発明が解決しようとする課題】このように、従来技術では、生産ラインに設置された投影露光装置において投影光学系の投影倍率だけを補正している。しかしながら、上述したように高精度な投影露光を行う場合、投影倍率だけを補正すると、球面収差やコマ収差のような他の諸収差が悪化してしまうという不都合があった。

【0007】本発明は、前述の課題に鑑みてなされたものであり、投影光学系の投影倍率を含む複数の諸収差を随時独立に補正することのできる投影露光装置を提供することを目的とする。

##### 【0008】

【課題を解決するための手段】前記課題を解決するために、本発明においては、マスクに形成されたパターンの像を感光性の基板上に投影するための投影光学系を備えた投影露光装置において、前記投影光学系を構成するレンズのうちの少なくとも1つのレンズを光軸に沿って移動させるための移動手段と、前記投影光学系内において連続して配置された複数のレンズの間に形成される空間の気圧を変化させるための気圧制御手段とを備え、前記移動手段によるレンズ移動と前記気圧制御手段による前記空間の気圧変化との作用により、前記投影光学系の投影倍率を含む複数の収差を独立に補正することを特徴とする投影露光装置を提供する。

【0009】本発明の好ましい態様によれば、前記移動手段は、前記投影光学系においてマスク側に近接して配置された正屈折力のレンズを移動させ、前記気圧制御手段は、前記投影光学系内に設けられた開口絞りの近傍において連続して配置された複数のレンズの間に形成される空間の気圧を変化させる。

【0010】また、前記投影光学系の焦点距離を $F$ とし、前記連続して配置された複数のレンズの合成焦点距離を $F_t$ としたとき、 $|F/F_t| < 0.5$ の条件を満足することが好ましい。

##### 【0011】

【発明の実施の形態】本発明では、投影光学系を構成するレンズのうちの少なくとも1つのレンズを光軸に沿って移動させるための移動手段と、投影光学系内において連続して配置された複数のレンズの間に形成される空間の気圧を変化させるための気圧制御手段とを備えている。したがって、移動手段によるレンズ移動によって投影倍率が変化し他の収差も変化する。一方、気圧制御手段によるレンズ間の空間の気圧変化によって、同じく投影倍率が変化し他の収差も変化する。その結果、レンズ移動量および気圧変化量を適宜制御することにより、投影光学系の投影倍率を含む複数の収差を独立に補正することができる。

【0012】なお、像高に対して各収差がある程度独立に変化するように、投影光学系においてマスク側に近接して配置された正屈折力のレンズを移動させることが望ましい。さらに具体的には、各像高からの主光線が互いにある程度離間しており、球面収差やコマ収差についても像高に対してある程度独立に変化するように、斜光線の広がり小さくしなければならない。したがって、光軸に沿って移動可能なレンズでは、このレンズを通過する最大像高からの主光線の高さが最大像高の6割以上であり、最大開口数の周辺光線と主光線との幅がレンズの最大直径の1/4以下であることが好ましい。

【0013】また、気圧変化を受ける連続した複数のレンズは投影光学系内に設けられた開口絞りの近傍に配置され、次の条件式(1)を満足することが好ましい。

$$|F/F_t| < 0.5 \quad (1)$$

ここで、

$F$   $T$  : 投影光学系の焦点距離

$F$  : 連続して配置された複数のレンズの合成焦点距離  
条件式(1)の上限値を上回ると、気圧変化を受ける連続した複数のレンズの合成屈折力が弱くなりすぎて、所定の投影倍率変化を得るのに必要な圧力変化が大きくなりすぎてしまう。

【0014】本発明の実施例を、添付図面に基づいて説明する。図1は、本発明の実施例にかかる投影露光装置の構成を概略的に示す図である。本実施例では、半導体製造用のステッパに本発明を適用した例を示している。図1において、21個のレンズL1~L21からなる投影光学系PLの物体面には所定の回路パターンが形成されたマスクとしてのレチクルRが配置されており、投影光学系PLの像面には感光性基板としてのウエハWが配置されている。ここで、レチクルRはレチクルステージ(不図示)上に保持されており、ウエハWは投影光学系PLの光軸AXに垂直な面内において2次元的に移動可能に構成されたウエハステージ(不図示)上に保持されている。

【0015】また、レチクルRの上方には、レチクルRを均一照明するための照明光学系ISが配置されている。照明光学系ISから供給される光はレチクルRを照

明し、投影光学系PLの瞳位置(開口絞りASの位置)には照明光学装置IS中の光源の像が形成される。すなわち、照明光学装置ISは、レチクルRをケラー照明のもとで均一照明する。そして、投影光学系PLにより、ケラー照明されたレチクルRのパターン像がウエハW上に投影露光される。こうして、ウエハステージをひいてはウエハWを2次元的に移動させながら露光を行うことにより、ウエハW上の各露光領域にレチクルパターンを逐次転写することができる。

【0016】投影光学系PLは、物体側(レチクルR側)から順に、物体側に凹面を向けた正メニスカスレンズL1、両凸レンズL2、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズL3、両凹レンズL4、両凹レンズL5、両凹レンズL6、両凸レンズL7、両凸レンズL8、両凸レンズL9、両凸レンズL10、物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズL11、両凹レンズL12、両凹レンズL13、両凹レンズL14、物体側に凹面を向けた正メニスカスレンズL15、物体側に凹面を向けた正メニスカスレンズL16、両凸レンズL17、物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズL18、物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズL19、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズL20、および物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズL21から構成されている。なお、正メニスカスレンズL15と正メニスカスレンズL16との間には、開口絞りASが配置されている。

【0017】最も物体側に配置された正メニスカスレンズL1は、レンズ室4によって保持されている。また、両凸レンズL2は、レンズ室6によって保持されている。さらに、レンズ室4とレンズ室6との間には3つの駆動素子5a~5c(ただし5cは不図示)が設けられ、レンズ室6は3つの駆動素子7a~7c(ただし7cは不図示)によって支持されている。そして、3つの駆動素子5a~5cは制御装置15によって、3つの駆動素子7a~7cは制御装置16によってそれぞれ駆動制御されるように構成されている。また、制御装置15および制御装置16は、システム制御系18によって統御されるように構成されている。なお、駆動素子として、たとえばピエゾ素子やマイクロメータなどを用いることができる。

【0018】したがって、3つの駆動素子5a~5cの作用により、レンズ室4をひいては正メニスカスレンズL1を光軸AXに沿って所望量だけ移動させることができる。また、3つの駆動素子7a~7cの作用により、レンズ室4とレンズ室6とをひいては正メニスカスレンズL1と両凸レンズL2とを一体的に光軸AXに沿って所望量だけ移動させることができる。すなわち、3つの駆動素子5a~5cと3つの駆動素子7a~7cとの協働作用により、正メニスカスレンズL1および両凸レンズL2をそれぞれ光軸AXに沿って所望量だけ移動させることができる。このように、3つの駆動素子5a~5

c、3つの駆動素子7a~7c、制御装置15、制御装置16およびシステム制御系18は、正メニスカスレンズL1および両凸レンズL2をそれぞれを光軸AXに沿って移動させるための移動手段を構成している。

【0019】また、開口絞りASよりも像側において連続して配置された4つのレンズ、すなわち正メニスカスレンズL16、両凸レンズL17、正メニスカスレンズL18および正メニスカスレンズL19の間に形成される空間が隔壁13によって密封状態で包囲されている。隔壁13はたとえば加減圧ポンプのような圧力調整装置17に接続されており、圧力調整装置17はシステム制御系18によって統御されるように構成されている。したがって、圧力調整装置17の作用により、正メニスカスレンズL16と両凸レンズL17との間、両凸レンズL17と正メニスカスレンズL18との間、および正メニスカスレンズL18と正メニスカスレンズL19との間に形成される空間の気圧を所望量だけ変化させることができる。このよう

に、隔壁13、圧力調整装置17およびシステム制御系18は、連続して配置された4つのレンズの間に形成される空間の気圧を変化させるための気圧制御手段を構成している。

【0020】次の表(1)に、本実施例における投影光学系PLの諸元の値を掲げる。表(1)において、左端の数字は物体側(レチクルR側)からの各レンズ面の順序を、rは各レンズ面の曲率半径を、dは各レンズ面間隔を、nは露光波長( $\lambda=248.4\text{nm}$ )に対する屈折率を示している。また、 $d_0$ はレチクルRから最も物体側のレンズ面までの軸上距離を、 $\beta$ は投影光学系PLの投影倍率を、NAは投影光学系PLの像側(ウエハW側)における開口数を、Lは物体面(レチクルR面)から像面(ウエハW面)までの軸上距離すなわち物像間距離をそれぞれ表している。

【0021】

【表1】

	$d_0 = 111.4571$			
	$\beta = 1/4$			
	NA = 0.57			
	L = 1000			
	r	d	n	
1	-737.785	27.48446	1.5084	(L1)
2	-235.289	0.91615		
3	211.1786	36.64594	1.5084	(L2)
4	-461.399	0.91615		
5	412.6778	21.07142	1.5084	(L3)
6	160.5391	16.19671		
7	-604.128	7.214870	1.5084	(L4)
8	218.1877	23.94148		
9	-3586.06	11.97760	1.5084	(L5)
10	251.8168	46.50644		
11	-85.2817	11.96050	1.5084	(L6)
12	584.8597	9.96843		
13	4074.801	35.29106	1.5084	(L7)
14	-162.019	0.92274		
15	629.544	41.22669	1.5084	(L8)
16	-226.740	0.91615		
17	522.2739	27.84209	1.5084	(L9)
18	-582.424	0.91615		
19	423.7290	22.90371	1.5084	(L10)
20	-1385.36	0.91610		
21	212.0390	33.64638	1.5084	(L11)
22	802.3695	55.30363		
23	-776.570	8.703410	1.5084	(L12)
24	106.1728	24.08966		
25	-200.683	11.45186	1.5084	(L13)
26	311.8264	59.53984		
27	-77.2276	11.77233	1.5084	(L14)
28	2317.803	11.86173		

29	-290.886	22.90371	1.5084	(L15)
30	-148.358	1.37269		
31	-5658.50	41.22670	1.5084	(L16)
32	-151.986	0.91615		
33	678.1005	32.98135	1.5084	(L17)
34	-358.554	0.91615		
35	264.2734	32.81350	1.5084	(L18)
36	2309.688	0.91615		
37	171.2681	29.01459	1.5084	(L19)
38	364.7765	0.91788		
39	113.370	76.25934	1.5084	(L20)
40	78.69823	54.30392		
41	49.54433	18.64972	1.5084	(L21)
42	109.8136	0.24723		

(条件対応値)

$$(1) |F/F_t| < 0.5 = 0.244$$

【0022】投影光学系PLにおいて正メニスカスレンズL1だけを図中上方へ100μmすなわち+100μm光軸AXに沿って移動させて正メニスカスレンズL1と両凸レンズL2との空気間隔を100μm広げたときのウエハW上における各収差の変化量を次の表(2)に示す。なお、表(2)および以下の表(3)および

(4)において、球面収差(最大開口数)は、最大開口数に対する球面収差を表している。また、投影倍率(最大像高)は、最大物体高からの主光線の像高を表している。さらに、コマの和は、最大物体高からの上側光線と主光線との像面における距離と最大物体高からの下側光線と主光線との像面における距離との総和を表している。したがって、コマの和の値が正である場合には外方コマ収差が、コマの和の値が負である場合には内方コマ収差が発生することになる。

【0023】

【表2】

	変化量(μm)
球面収差(最大開口数)	-0.36
投影倍率(最大像高)	-1.39
コマの和	+0.39

【0024】また、正メニスカスレンズL1と両凸レンズL2とを図中上方へ100μmすなわち+100μm光軸AXに沿って移動させて両凸レンズL2と負メニスカスレンズL3との空気間隔を100μm広げたときのウエハW上における各収差の変化量を次の表(3)に示す。

【0025】

【表3】

	変化量(μm)
球面収差(最大開口数)	-0.86
最大像高(最大像高)	-1.52
コマの和	+0.96

【0026】さらに、正メニスカスレンズL16~正メニ

スカスレンズL19を密封包囲している隔壁13内の空間の気圧を100mmHgだけ増大させたときすなわち+100mmHg変化させたときのウエハW上における各収差の変化量を次の表(4)に示す。

【0027】

【表4】

	変化量(μm)
球面収差(最大開口数)	-0.24
最大像高(最大像高)	+0.45
コマの和	-0.68

【0028】ここで、たとえば投影倍率を+1μmだけ、球面収差を+0.1μmだけ、コマの和を+0.1μmだけそれぞれ同時に補正する場合について考える。まず、たとえば正メニスカスレンズL1だけを光軸方向に-71.9μm移動させることによって、投影倍率を+1μmだけ補正することは可能である。しかしながら、この場合、球面収差が+0.26μmだけ発生するとともに、コマの和が-0.28μmだけ発生してしまう。したがって、投影倍率を所望通り補正することができるが、球面収差およびコマの和を補正することはできない。

【0029】また、たとえば正メニスカスレンズL1を光軸方向に-109.2μmだけ移動させるとともに正メニスカスレンズL1と両凸レンズL2とを光軸方向に+34.1μmだけ移動させることによって、投影倍率を+1μmだけ補正するとともに球面収差を+0.1μmだけ補正することができる。しかしながら、この場合、コマの和が-0.09μmだけ発生してしまい、投影倍率と球面収差とコマの和とを同時に補正することはできない。

【0030】本実施例では、表(2)~表(4)に示すように、正メニスカスレンズL1の移動、正メニスカスレンズL1と両凸レンズL2との移動および4つのレンズ間の気圧変化により、投影倍率、球面収差およびコマ

収差がそれぞれ独立に変化する。したがって、正メニスカスレンズL1の移動量、正メニスカスレンズL1と両凸レンズL2との移動量および4つのレンズ間の気圧変化量を、たとえば連立方程式の解法に倣って適宜選択することにより、投影倍率と球面収差とコマ収差とを同時に補正することが可能である。

【0031】具体的には、本実施例の場合、正メニスカスレンズL1を光軸方向に $-133.2\mu\text{m}$ だけ移動させ、正メニスカスレンズL1と両凸レンズL2とを光軸方向に $+49.9\mu\text{m}$ だけ移動させるとともに、隔壁13内の空間の気圧を $-20.7\text{mHg}$ だけ変化させることによって、投影倍率を $+1\mu\text{m}$ だけ補正し球面収差を $+0.1\mu\text{m}$ だけ補正するとともにコマの和を $+0.1\mu\text{m}$ だけ補正することができる。このように、本実施例では、正メニスカスレンズL1の移動、正メニスカスレンズL1と両凸レンズL2との移動、および4つのレンズ間の気圧変化により、投影光学系PL内に残存する投影倍率と球面収差とコマ収差とを随時独立に補正することができる。

【0032】上述の実施例では、2つのレンズの移動と1つの空間の気圧変化とにより、投影倍率と球面収差とコマ収差とを補正する例を示している。しかしながら、1つのレンズの移動と1つの空間の気圧変化とにより、投影倍率と他の適当な収差とを補正することもできる。また、移動可能なレンズの数や気圧変化可能な空間の数を適宜選択することにより、たとえばフォーカス変動量や像面湾曲やディストーションなどの諸収差を投影倍率

とともに補正することもできる。また、上述の実施例では、2つのレンズを光軸方向に移動させているが、少なくとも一方のレンズを光軸に対して傾斜させることにより回転非対称な収差を補正することも可能である。

#### 【0033】

【効果】以上説明したように、本発明では、レンズ移動量および気圧変化量を適宜制御することにより、投影光学系の投影倍率を含む複数の収差を独立に補正することができる。したがって、生産ラインに設置した直後や様々な環境変化が起こった後に、投影光学系の投影倍率などを随時調整することにより、常に高精度な投影露光を行うことができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施例にかかる投影露光装置の構成を概略的に示す図である。

#### 【符号の説明】

IS	照明光学系
R	レチクル
PL	投影光学系
AS	開口絞り
W	ウエハ
4、6	レンズ室
5、7	駆動素子
13	隔壁
15、16	制御装置
17	圧力調整装置
18	システム制御系

【図1】

